

부정맥 환자의 진단 및 치료를 위한 ICD 알고리즘 및 시뮬레이터 구현

신광수, 김진권, 신항식, 이충근, 이명호
연세대학교 전기전자 공학과

Implementation of ICD(Implantable Cardioverter Defibrillator) Algorithm and Simulator for Detecting and Treatment of Patient with Arrhythmia

K. S. Shin, J. K. Kim, H. S. Shin, C. K. Lee, M. H. Lee
Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

Abstract

현대인의 생활 습관 및 고령화 사회의 도래에 따라 심장질환자의 수는 기하급수적으로 증가하고 있으며 특히 부정맥 환자는 그 중에서 가장 큰 분포를 차지하고 있다. 따라서 심장질환의 검출 및 치료를 위한 기기의 개발 및 발전이 시급하다고 볼 수 있다. 그 중 본 고에서는 인체 이식형/삽입형 Pacemaker인 ICD(Implantable Cardioverter Defibrillator)의 알고리즘을 소개하고자 한다. 본 고의 전체적인 구조는 ICD 기술의 필요성을 제시하고 본문에서는 부정맥(Arrhythmia) 소개 및 구현 대상, ICD 알고리즘 관련 국내외 현황, 빈맥의 검출 및 치료, 서맥의 검출 및 치료, 시뮬레이터 구현의 내용을 담았다. 또한 알고리즘의 모듈 단위 구성도와 시뮬레이터(Simulator) UI(User Interface)를 제시하였다.

1. 서 론

현대인의 생활 습관 및 고령화 사회의 도래에 따라 심장질환자의 수가 급격히 증가 되고 있다. 미국의 경우 심장질환으로 인한 사망자 수는 2002년 75만명 정도로 추정되며, 700만명 정도의 미국인들이 병원에 내원하고 있다고 보고되었다.[3] 우리나라의 경우에도 심장질환자의 총수는 1996년 5만 4534명에서 2002년 16만 9576명으로 약 3.1배 증가하였으며 2006년 국내 사망 원인 중 심장 질환이 8.3%로 3위를 차지 하였다.[1] 특히 심근 경색과 협심증의 빈도가 커지고 있으며 이는 부정맥과 심부전을 비롯하여 여러 가지 질환들을 유발하고 있다. 국내의 경우 700~900만명 정도의 박동기를 전량 수입에 의존하고 있으며 국내 신촌 세브란스의 심혈관 병원의 경우 심박동기 시술 건수가 2003년에는 120건 2004년에는 110건 정도로 보고되고 있으며 심실 부정맥 환자의 급사를 예방하는데 이용되는 ICD의 경우 연간 생산 개수가 2000년에는 전세계적으로 6만대, 2003년 10만대, 2005년에는 15만대에 이르고 있으며 앞으로도 상승폭은 더욱 커질 것으로 예상된다.[4] 하지만 ICD의 경우 시술에 필요한 비용이 총 3000~3700만원 정도로 이식자의 경제적 부담이 매우 크고 또한 현재 사용되는 기기의 경우 배터리 수명으로 인하여 5~7년마다 교체해 주어야 하므로 지속적인 비용부담이 발생하게 된다. 따라서 조소형, 초전력형 ICD의 개발이 시급하며 또한 이를 통한 경쟁력 확보를 통하여 국내의 ICD 기술의 향상을 도모하여야 한다. 본 고에서는 이러한 ICD 상에서의 부정맥 진단 알고리즘 및 검증을 위한 시뮬레이터를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 ICD 알고리즘 관련 국내외 현황

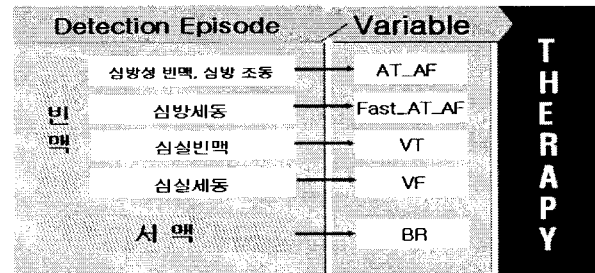
ICD는 국외제품의 유행한 시장 점유율을 보이고 있으며 국내의 기술개발은 전무한 실정이다. ICD는 크기, 전력 소모량, 데이터 저장량, 검출 및 치료 알고리즘 부분에서 발전이 이루어지고 있다. 특히 알고리즘 측면에서 Dual Chamber 구현, Rate Response Pacing, Synchronous 제어, Overdrive Pacing 등이 화두가 되고 있으며 본 고에서 제시하고 있는 ICD 알고리즘은 Dual Chamber 구현, Rate Response Pacing, Overdrive Pacing이 구현되어 있다. <표 1>은 ICD에서 우수한 기술력을 보유하고 있는 기업 및 제품을 간략히 소개한다.[4]

<표 1> ICD 제품 현황

Medtronic(USA)	EnTrust	35cc, 68g	충진시간에 따른 세동시 치료 최적화
St. Jude Medical (USA)	Epic HF V-338	36cc, 73g	분리된 RV, LV 출력
Guidant(USA)	Ventak Prizm 2DR 1861	32cc, 82g	외부 실시간 모니터링 강화
Epic(USA)	VR V-196	32cc, 69g	형태 인식법을 통한 보다 정확한 진단
Biotronik(German)	Philos 2 Cerrox	34cc, 78g	모바일 기기로 자료전송 가능

2.2 부정맥(Arrhythmia) 소개 및 구현 대상

근육이 수축하기 위해서는 전기가 발생되어야 가능하다. 그래서 심장 내에는 자발적으로 규칙적인 전기를 발생시키고 심장전체로 전기 신호를 전달하는 전기 전달 체계가 있다. 이런 체계의 변화나 기능부진 등에 의해 초래되는 불규칙한 심박동을 부정맥이라 한다. 부정맥은 빠른 빈맥(Tachycardia)과 아주 느린 서맥(Bradycardia)으로 크게 나눌 수 있다. 부정맥은 심각한 심장질환의 신호일 수도 있고 아닐 수도 있다. 또 환자가 인지할 수도 있고 인지하지 못할 수도 있다. 빈맥으로는 상심실성 빈맥과 심실성 빈맥으로 나눌 수 있으며 상심실성 빈맥은 접합부 빈맥(Junctional Tachycardia), 방실결절 회귀성 빈맥(Atrioventricular Nodal Reentry Tachycardia), 방실 회귀성 빈맥(Atrioventricular Reentry Tachycardia), 심방성 빈맥(Atrial Tachycardia), 심방 조동(Atrial Flutter), 심방세동(Atrial Fibrillation), 심실성 빈맥으로는 심실 빈맥(Ventricular Tachycardia)과 심실 세동(Ventricular Fibrillation)이 있다. 서맥으로는 동성서맥(Sinus Bradycardia), 동방결절 기능 부진군(Sick Sinus Bradycardia), 방실결절 기능 부진군(Heart Block)이 있다.[2],[6] 본 알고리즘에서는 심방성 빈맥(Atrial Tachycardia), 심방 조동(Atrial Flutter), 심방세동(Atrial Fibrillation), 심실 빈맥(Ventricular Tachycardia)과 심실 세동(Ventricular Fibrillation)의 빈맥을 고려하였고 서맥 구현에 있어서는 동방결절(Sinus Node)과 방실결절(Atrioventricular Node)의 차단패턴에 따라 Smart Mode를 통한 치료를 구현하였다.



<그림 1> 검출 Episode 및 변수

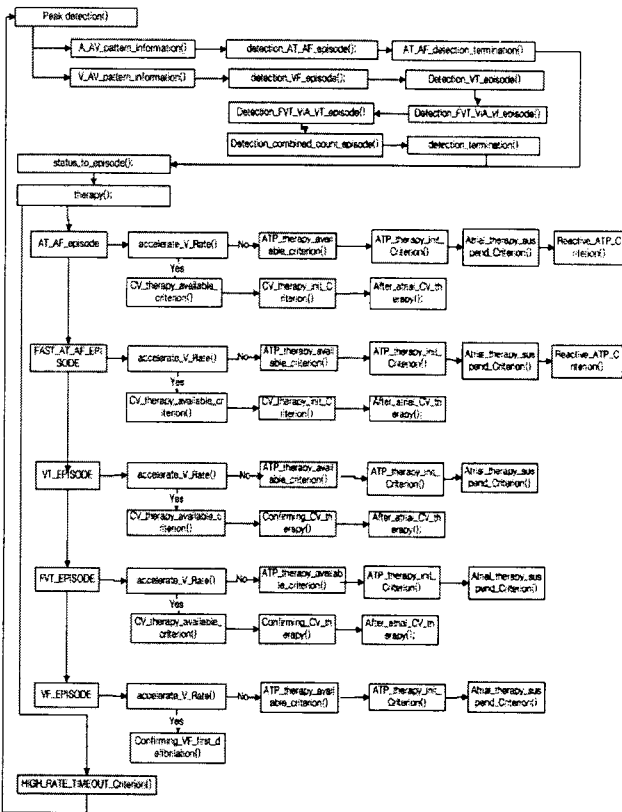
2.3 빈맥(Tachycardia)의 검출 및 치료

전체적인 구조를 살펴보면, EGM(Intracardiac Electrogram)신호에서 R peak를 검출해 내고, Cross Talk를 방지하는 R Peak Detection 부분과 이를 바탕으로 진단에 필요한 정보를 만들어내고 현재 심장의 상태를 기록하는 AV Pattern Information 부분, 그리고 이런 정보들을 활용하여 부정맥을 판별하는 Detection Episode 부분, 상심실성 빈맥과 심실성 빈맥을 구별하는 PR logic, Stability, Onset 모듈들이 있으며, 그에 대한 치료로써 ATP(Antitachycardia Pacing), CV(Cardioversion), Defibrillation가 구현 되었다. 또한 각종 counter, 부정맥 종료 검출 모듈들로 이루어져 있다. 모듈의 결합 모습은 <그림 2>과 같이 구성되어 있다.[5],[7]

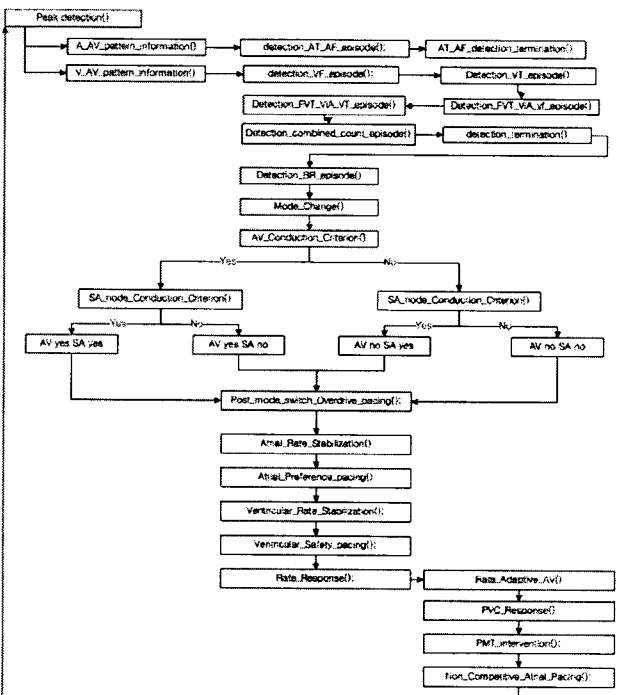
2.4 서맥(Bradycardia)의 검출 및 치료

본 시뮬레이터의 구현에서는 빈맥 뿐만 아니라 서맥에 대한 검출 및 치료 또한 가능하게 하였으며 서맥의 적절한 치료를 위하여 Mode Change Module을 통한 Dual Chamber 기반의 Mode를 구현하였다. Single Chamber가 아닌 Dual Chamber 형태로 구현함에 따라 Pacing Mode를 각각 Sensing, Pacing, Pacing point, Rate Response의 4가지의 모듈로 표시 가능하게 하였다.(예: DDDR mode) Dual-chamber pacemaker는 AV의 조화를 맞추어 심박조율을 할 수 있으므로 혈액학적으로 도움을 크게 줄 수 있고 심실 기능이 저하된 환자에게 보다 효율적인 Pacing 치료를 제공할 수 있다. 또한 Smart Mode Change를 통하여 환자의 상황, 즉 동방결절(Sinus Node)과 방실결절(Atrioventricular Node)의 상태의 변화에 따라 Mode가 변화하도록 하였다. 본 알고리즘에서는 NBG Pacing Code로 AAI, AAIR, VVI, VVIR, DDD, DDDR를 Smart Mode Change의 방법으로 구현하였다. Mo

de Change 후에 심박의 안정화를 위한 Stabilization Module을 구현 하였고 서맥 상태에서 Pacing 후 안정화 모듈을 구현함으로써 심장 상태의 안정화도 추구하였다. 또한 Pacing의 패턴에 따라 Pacing Rate를 적응제어(Adaptive Control)하기 위하여 Rate Response Module을 구현하였으며 모듈의 결합도는 <그림 3>과 같다.[5],[7]



<그림 2> 빈맥(Tachycardia)의 검출 및 치료 순서도(Flow Chart)



<그림 3> 서맥(Bradycardia)의 검출 및 치료 순서도(Flow Chart)

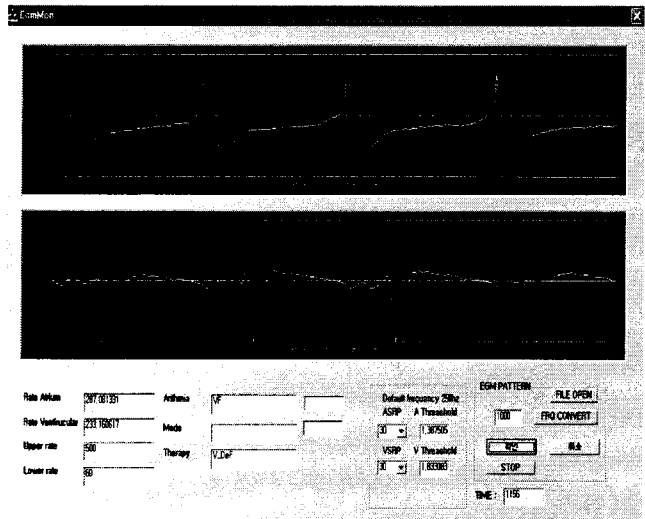
2.5 시뮬레이터 구현

2.5.1 시뮬레이터 개요

본 시뮬레이터는 EGM 신호 패턴에 따른 알고리즘의 검증용을 위하여 만들어졌으며 <그림 4>에서 보듯이 상부의 Signal Flow Window에는 심방신호(Atrial Signal)가 하부의 Signal Flow Window에는 심실신호(Ventricular Signal)를 기반으로 하고 있다. 제어부로는 심방과 심실신호의 피크(Peak)값을 검출하는 기준이 되는 임계치(Threshold Value)를 설정하도록 하여 신호 검출상의 제어성을 높였다.

2.5.2. Test Data

본 시뮬레이터의 Test Data는 Intracardiac Data 중 ANN ARBOR에서 제공하고 있는 EGM Database를 기본으로 하고 있으며 아래의 시뮬레이션 상황은 Database의 A377b91 Data의 심실세동 상태를 나타내고 있다. 일반적으로 의료진들이 심장의 이상유무를 검진하기 위해 ECG를 많이 사용하고 있고 EGM은 획득의 어려움으로 인해 사용하는 경우가 적지만 ICD의 경우와 같이 심장 내부에 센서를 삽입한 경우 EGM 신호를 검진에 사용하고 있다. EGM 신호의 주요 특징은



<그림 4> EGM Data 기반의 ICD 알고리즘 검증용 시뮬레이터로는 파형의 형태, 주파수 특성, 진폭 특성, 심방과 심실을 통한 시간 차이 등을 들 수 있으며, ECG 신호보다 장점으로 들 수 있는 것은 외부 측정으로 인한 외란이 없다는 것이다.

3. 결 론

본 고에서는 ICD 기술의 필요성을 제시하고 부정맥(Arrhythmia) 소개 및 구현 대상, ICD 알고리즘 관련 국내외 현황, 빈맥의 검출 및 치료, 서맥의 검출 및 치료, 시뮬레이터 구현의 내용을 소개하였다. 현재의 ICD 기술, 정보적인 측면의 종속을 해결하기 위해서 ICD 알고리즘의 개발 및 분석은 최초로 해결되어야 하면서도 핵심적인 필수 요소라 할 수 있을 것이다. ICD의 수요는 계속 늘어가는 반면 시술시의 비용은 여전히 고가이기 때문에 이런 면에서 볼 때 ICD의 전민본적인 기술개발은 부정맥 환자의 의료비 부담을 줄임으로써 국민복지에 이바지 할 수 있을 것이다. ICD의 기술은 생체정보기술, SoC, MEMS 등 첨단 융합기술을 요한다. 따라서 ICD의 기술개발은 복합적인 성장을 도모할 수 있으며 또한 BAN(Body Area Network)을 통하여 외부에서 개인의 생체정보를 관리하게 함으로써 u-Health 기술과 연동한 개인의 맞춤형 건강관리가 가능해질 것으로 예상된다. 본 고를 통하여 제시된 ICD 알고리즘이 우리나라 ICD 기술 및 발전에 기여하길 기대한다.

[후 기]

본 고의 내용은 정보통신부 "IT 원천기술개발사업 연구개발과제" 중 "생체신호 처리기반 Implantable System 개발" (A1100-0702-0117)의 기술개발 결과임을 밝힌다.

[참 고 문 헌]

- [1] "2006년 사망 및 사망원인 통계 결과", 통계청, 2007
- [2] Emanuel Stein, "Interpretation of Arrhythmias", Lea&Febiger, 1988
- [3] 윤영로, "보건의료기술 연구개발사업 최종 보고서 : 이식형 페이스 메이커 개발", 보건복지부, 1998
- [4] 이명호, "2008 생체신호 처리기반 Implantable System 개발 수행계획서", 정보통신부, 2008
- [5] Medtronic "Entrust Reference Manual, Kappa "900/800 Series "Reference Guide" 2005,
- [6] Cranefield, P.F. and R.S. Aronson, "Cardiac Arrhythmia", Mount Kisco : Futura, 1998
- [7] Bennett, D.H. "Cardiac Arrhythmia : Practical notes on interpretation and treatment", 3rd Ed. Bristol : John Wright & Son, 1989